Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 1147-1161

Effect of Rootstock and Inoculation with Mycorrhizal Fungi on the Growth, Yield, and Fruit Quality of Greenhouse Cucumber in Soilless Culture Conditions

A. Marzizadeh [1*], S. Bolandnazar [2]

1 and 2- M.Sc. Graduated and Professor, Department of Horticulture Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: marzizadeh.asghar69@gmail.com)

Received: 09-04-2023 Revised: 22-08-2023 Accepted: 23-08-2023 Available Online: 27-08-2023	**How to cite this article:** Marzizadeh, A., & Bolandnazar, S. (2024). Effect of rootstock and inoculation with mycorrhizal fungi on the growth, yield, and fruit quality of greenhouse cucumber in soilless culture conditions. *Journal of Horticultural Science, 37*(4), 1147-1161. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.81876.1256

Introduction

Cucumber stands out as a vital greenhouse crop. The continuous cultivation of cucumbers within greenhouse environments, aimed at mass production and the delivery of fresh products, inevitably leads to heightened soil salinity and the onset of soil-borne diseases like Fusarium wilt. Consequently, these factors contribute to a decline in both yield and crop quality, underscoring the necessity for research into methods that enhance the yield and quality of greenhouse produce. Grafting cucumber onto various rootstocks and introducing inoculation with mycorrhizal fungi emerge as the most promising strategies for augmenting the yield and quality of greenhouse-grown cucumbers. With this in mind, the current study was undertaken to examine the impact of different rootstocks and mycorrhizal fungi inoculation on the growth and performance of greenhouse cucumbers under soilless culture conditions.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of the rootstock and inoculation with mycorrhizal fungi on the growth and yield of greenhouse cucumber under the soilless culture conditions, a greenhouse factorial experiment was conducted based on the Complete Randomized Block Design (CRBD) with three replications. The first factor was grafting of cucumber cv Nagene on the Shintoza rootstock, and none-grafting; the second factor was symbiosis with mycorrhizal fungi (*Diversispora versiformis*) and non mycorrhizal ones. The Nagene greenhouse cucumber cultivar was obtained as a scion from Enza Zaden Company, Netherlands and the desired mycorrhizal fungus was obtained from the Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. The scion seeds were planted earlier than the rootstocks. After completing the planting operation, the seedling trays were moved to the greenhouse with a sufficient natural light. The substrate used for planting of seedlings was peat moss and perlite in the ratio of 1:2, impregnated with the desired amount of mycorrhizal fungi inoculum. Seedlings got ready for transplanting at the true single leaf stage and two weeks after planting the scion seeds. Transplantation of splice grafting was done on seedlings both mycorrhizal fungi treatments (inoculated and not inoculated). After 10 days of transplanting, the transplanted seedlings (which we already treated with mycorrhiza inoculation) were transferred to the transplant chamber immediately. Grafted and inoculated seedlings with the control ones were transferred into the 10-liter pots with peat moss and perlite in a ratio of 1:2. At the time of transferring ths seedlings inoculated with mycorrhizal fungi to the pot; to ensure root inoculation with mycorrhizal fungi, the inoculum including spores, hyphae and root fragments was added to the 10-liter pot of peat moss and perlite in the amount of 50 grams per pot with the substrate around the roots of greenhouse cucumber seedlings. All the plants were fertigated with Hoagland nutrient solution with half strength during the

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.81876.1256

growing period. The pH and electrical conductivity (EC) of the nutrient solution were measured daily. At the end of the research, quantitative and qualitative traits were evaluated.

Results and Discussion

Results showed that there was a significant differences between the rootstock and colonization with the mycorrhizal fungi regarding the growth, yield and qualitative traits. Plants inoculated with mycorrhizal fungi and grafted on Shintoza showed a better growth parameter, fruit number, and yield than the other treatments. This treatment with 2115.62 g per plant had the highest fruit yield and the non-grafted non-mycorrhizal control plants with 1569.64 g per plant had the lowest fruit yields. Therefore, the fruit yield increased about 34% in comparison to control. Also, the fruit quality characteristics such as antioxidant capacity and soluble solids (TSS) content were higher in the grafted and colonized plants with mycorrhizal fungi. In addition, there was no significant difference between the treatments in term of pH and total phenol of fruit and titrable acidity of the fruit. These effects show the high potential of mycorrhizal fungi and rootstock in uptake of the nutrients, which provide nutrients that are unavailable to the plant with a special mechanism, and thus affect the growth and yield of greenhouse cucumbers. They have an effect that ultimately improve the growth and yield of the produced crop.

Conclusion

Based on this experiment results, it can be concluded that the simultaneous application of mycorrhizal fungi and grafting on Shintoza rootstock in the soilless culture using peat moss and perlite as the substrate (2:1) is of one the most efficient techniques to increase the yield and fruit quality of greenhouse cucumbers and therefore it is recommended.

Keywords: Grafting, Nagene, Shintoza, Symbiosis

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ١١٦١-١١٤٧

اثر پایه و تلقیح با قارچ میکوریزا بر رشد، عملکرد و کیفیت میوه خیار گلخانه‌ای در شرایط کشت بدون خاک

اصغر مارزی زاده [1]*- صاحبعلی بلندنظر [2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۱

چکیده

به‌منظور بررسی اثر پایه و تلقیح با قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایط کشت بدون خاک، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشگاه تبریز اجرا گردید. فاکتور اول با دو سطح، پیوند خیار رقم 'ناگین' روی پایه کدوی 'شینتوزا' و رقم 'ناگین' غیر پیوندی همزیست با قارچ میکوریزا *Diversispora versiformis*، همچنین، عدم تلقیح با قارچ میکوریزا به‌عنوان فاکتور دوم بود. نتایج بدست آمده نشان داد اثر پایه و قارچ میکوریزا بر صفات کمی خیار معنی‌دار بود. بطوری‌که پایه شینتوزا تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشترین تأثیر را بر افزایش رشد رویشی، افزایش عملکرد تک بوته داشت. عملکرد در این تیمار با ۲۱۱۵/۶ گرم در بوته بیشترین عملکرد میوه و گیاهان شاهد غیر پیوندی و فاقد میکوریزا با تولید ۱۵۶۹/۶ گرم در بوته کمترین عملکرد میوه را به خود اختصاص دادند. که حدود ۳۴ درصد نسبت به شاهد غیر پیوندی و فاقد میکوریزا افزایش عملکرد را نشان می‌دهد. همچنین در تیمار گیاهان پیوندی و تلقیح شده با قارچ میکوریزا، صفات کیفی میوه از جمله Ec عصاره میوه، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای مواد جامد محلول (TSS) میوه افزایش یافت. در ضمن سایر صفات کیفی میوه از جمله pH و فنل کل میوه، سفتی بافت میوه، اسیدیته قابل تیتراسیون میوه معنی‌دار نبود. بنابراین کاربرد قارچ میکوریزا بر روی پایه شینتوزا برای تولید خیار گلخانه‌ای در شرایط کشت بدون خاک در بستری از پیت‌ماس و پرلایت به نسبت ۲:۱، به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در بهبود عملکرد محصول گلخانه‌ای پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: پیوند، رقم ناگین، شینتوزا، همزیستی

مقدمه

کشاورزان در سراسر جهان در تأمین غذا با چالش‌های مهمی مانند افزایش تقاضای تولید و در عین حال بدتر شدن وضعیت زمین های کشاورزی ناشی از کشت‌های بی‌رویه روبرو هستند. علاوه بر این، تغییرات اقلیمی، تخلیه خاک‌ها ضعیف از عناصر غذایی و ماده آلی، تخریب خاک و آلودگی آب در حال وقوع هستند و انتظار می‌رود در آینده وضع بدتر شود که همه این موارد عرضه پایدار مواد غذایی را با مشکل مواجه می‌کند. برای اطمینان از عرضه پایدار مواد غذایی، نیاز به تولید محصول به شیوه‌های کشاورزی نوین می‌باشد (Magwaza *et al*., 2020). که با در نظر گرفتن مسیر کشاورزی، سیستم‌های کشت بدون خاک گزینه بسیار خوبی در جهت پایداری محیطی و عرضه پایدار مواد غذایی می‌باشند. این سیستم‌ها می‌توانند تأثیر منفی کاهش منابع و وابستگی به اقلیم را کاهش دهند و دستیابی به اهداف پایدار مطلوب را امکان‌پذیر سازند. در نتیجه، کشاورزی بدون خاک پتانسیل بسیار خوبی برای دستیابی به آینده‌ای دوستدار محیط‌زیست و غلبه بر چالش‌های مربوط به امنیت غذایی و کنترل کیفیت ارائه می‌دهد (Sambo *et al*., 2019). از طرف دیگر

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email:marzizadeh.asghar69@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jhs.2023.81876.1256

افزایش روزافزون جمعیت در جهان که نیازمند تولید غذای بیشتر و نیازمند تجدید در ساختار نظام کشت است. در این راستا توسعه کشت گلخانه‌ای به‌عنوان یک راهکار مناسب مطرح است. خیار از جمله محصولات مهم مورد کشت در سیستم‌های گلخانه‌ای در سراسر دنیا می‌باشد. آنچه اهمیت کشت‌های گلخانه‌ای را دو چندان نموده صرفه جویی در مصرف آب است. که در همین راستا، کشت بدون خاک یکی از عوامل مؤثر در افزایش کارایی مصرف آب و بهبود عملکرد می‌باشد. کشت مداوم گلخانه‌ای خیار، به‌منظور تولید انبوه و عرضه طولانی‌تر این محصول به‌طور تازه و در خارج از فصل، سبب افزایش شوری، بروز آفات و بیماری‌های خاکزاد مانند پژمردگی فوزاریومی می‌گردد. این شرایط باعث اختلالات مختلف فیزیولوژیک و پاتولوژیک شده که منجر به کاهش شدید محصول می‌شود. پیوند می‌تواند بر بسیاری از این مشکلات غلبه کند (Davis *et al.*, 2008). با توجه به محدود بودن زمین‌های قابل کشت و تقاضای بالا برای سبزی‌های خارج از فصل خانواده کدوئیان، سیستم‌های کشت متراکم با محدودیت تناوب محصولات منجر به بروز تنش‌های زنده و غیرزنده گردیده که عملکرد و کیفیت محصول را کاهش می‌دهد. از این رو دسترسی به رهیافت‌هایی که منجر به افزایش مقاومت این سبزی در برابر این مشکلات شود بسیار مهم است. لیکن با استفاده از تکنیک پیوند سبزی‌ها و فن‌آوری آن می‌توان مقدار قابل توجهی از این مشکلات را برطرف نمود، پیوند بر روی پایه‌های مقاوم داری مزایای فراوان است که می‌توان به برخی موارد ذیل اشاره نمود: تحمل به تنش‌های محیطی مانند دمای پایین، خشکی، غرقابی، عدم تهویه، شوری، وجود عناصر سنگین، کمبود یا بیش‌بود عناصر غذایی و تنش pH خاک و مقاومت به بیماری‌های خاکزاد به‌ویژه ورتیسیلیوم و فوزاریوم را ذکر نمود (Savvas *et al.*, 2009). از سوی دیگر یکی از مهمترین روابط همزیستی در عالم حیات که طی دوره تکامل به‌وجود آمده است، همزیستی میکوریزا می‌باشد که در آن، ریشه گیاه با قارچ به‌صورت یک واحد زنده فعالیت می‌کنند و از یکدیگر سود می‌برند. اصطلاح میکوریزا در واقع از دو بخش، یکی کلمه یونانی Mikes به معنای قارچ و دیگری کلمه لاتین Rhiza به معنای ریشه تشکیل شده است. در این سیستم، قارچ پوشش گسترده‌ای از رشته‌های نخ-مانند به هم تابیده به نام میسیلیوم را در اطراف ریشه گیاه میزبان تشکیل می‌هد. در این همزیستی قارچ، قند، اسیدهای آمینه، ویتامین ها و برخی مواد آلی دیگر را از میزبان دریافت می‌کند و در مقابل مواد معدنی به‌ویژه فسفات را از خاک جذب کرده و در اختیار گیاه قرار می دهد (Smith & Read, 2008). پژوهش‌های اخیر نشان داده‌اند که استفاده از قارچ‌های میکوریزا و باکترهای محرک رشد می‌تواند ضمن پایداری تولید منجر به افزایش عملکرد، بهبود کیفیت محصول، کاهش مصرف نهاده‌های کشاورزی از جمله کود شیمیایی و آب شوند. در ضمن تحمل گیاهان در مقابل تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله کمبود آب، شوری و فلزات سنگین افزایش می‌یابد (Bolandnazar, 2019). یکی از راهکارهای مؤثر در بهبود عملکرد کمی و کیفی محصولات گلخانه‌ای خیار استفاده از قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار می‌باشد که به تازگی برای افزایش عملکرد محصول در شرایط آب و هوایی مختلف مورد مطالعه هستند، قارچ‌های میکوریزا یکی از اجزای مهم جامعه‌ی زیستی خاک هستند که می‌توانند قابلیت دسترسی به عناصر غذایی خاک را افزایش دهند و بر رشد گیاه و افزایش عملکرد محصولات کشاورزی تأثیرگذار باشند. میسلیوم‌های قارچ میکوریزا با یک مکانیسم خاص آب و مواد مغذی را که برای گیاه غیر قابل دسترس هستند را فراهم می‌کند (Ashok *et al.*, 2012؛ Jan et al., 2013؛ Coline *et al.*, 2013). در سال‌های اخیرا تلقیح خیار با قارچ میکوریزا در بسیاری از کشورها به‌صورت تجاری انجام می‌گیرد و منجر به موفقیت در افزایش رشد و عملکرد محصول گردیده است (Ortas, 2010). قارچ‌های میکوریزا از طریق همزیستی با ریشه گیاهان، عناصر ضروری را برای گیاهان فراهم می‌کنند و از این طریق سبب افزایش رشد و عملکرد محصول، بهبود صفات کیفی می‌گردند (Keymer *et al.*, 2017). امروزه در جهان بیش از نیمی از محصولات گلخانه‌ای به روش کشت بدون خاک تولید می‌شوند، از طرفی سیستم کشت گلخانه‌ای کشت بدون خاک امکان کنترل هر چه بهتر تغذیه گیاهان را فراهم آورده و تحول شگرفی در عرضه محصولات گلخانه‌ای، ایجاد کرده است. از مزایای کشت بدون خاک می‌توان کنترل شرایط محیطی از جمله نور، دما، رطوبت و حتی نسبت اکسیژن به گاز کربنیک را نام برد. در کشت بدون خاک بافت نگهدارنده گیاه می‌تواند کوکوپیت، پرلایت، ورمیکولایت، ماسه یا سنگریزه باشد. این مواد اغلب بی‌خاصیت بوده (inert) و در تغذیه گیاه اثر ندارند (Tafazolei, 2009). در پژوهشی اثر قارچ میکوزیرا بر خصوصیات کیفی میوه توت فرنگی در محیط کشت‌های مختلف کشت بدون خاک مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد، قارچ‌های میکوریزا در شرایط کشت بدون منجر به بهبود برخی صفات کیفی میوه توت‌فرنگی نیز گردید (Salehi *et al.*, 2021). همچنین، کشت بدون خاک می‌توانند مسائل کشاورزی متعددی را با بهبود کارایی مصرف آب و عناصر غذایی، ارتقای پایدار تولید و سازگاری با زنجیره اقتصاد برطرف کند (Suarez-Caceres *et al.*, 2021). بر این اساس، پژوهشی با هدف ارزیابی و تحلیل اثر پایه و تلقیح با قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد خیار گلخانه‌ای در شرایط کشت بدون خاک اجرا شد.

مواد و روش‌ها

پژوهشی درگلخانه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی- دانشگاه تبریز اجرا گردید. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب

طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور، فاکتور اول پیوند خیار روی پایه کدوی شینتوزا، عدم پیوند و همزیستی با قارچ میکوریزا گونه‌ی *Diversispora versiformis* و عدم تلقیح با قارچ میکوریز به‌عنوان فاکتور دوم با سه تکرار اجرا شد. لازم به ذکر است که گونه ی قارچ میکوریزا تکثیر شده از مجاورت ریشه گیاه ذرت طی دوره رویشی چهار ماهه، از گروه خاک‌شناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز تهیه گردید. رقم خیار گلخانه‌ای 'ناگین' از شرکت Enza Zaden هلند تهیه و به‌عنوان پیوندک مورد استفاده قرار گرفت. پیش از کاشت، بذرها به مدت ۱۲ ساعت در آب ولرم خیس شده و بعد در کاغذ صافی قرار داده شدند، بعد از خروج ریشه‌چه، برای کاشت از سینی‌های نشایی حجره‌ای استفاده شد. برای کاشت بذور پایه از سینی‌های ۴۵ حفره‌ای و برای بذور پیوندک از سینی‌های ۹۰ حفره‌ای استفاده شد. بستر کاشت نشاءهای مورد استفاده پیت‌ماس و پرلیت به نسبت ۱:۲، آغشته شده به گونه‌های قارچ میکوریزا مورد نظر بود. بذور پیوندک هفت روز زودتر از پایه کشت شدند. بعد از کامل شدن عملیات کاشت بذور و آبیاری، سینی‌های نشاء به گلخانه با نور کافی و طبیعی ۷۰۰۰۰ لوکس، دمای ۲۸-۲۵ درجه سلسیوس (روز) و ۲۰-۱۸ درجه سلسیوس (شب) منتقل شدند. گیاهچه‌ها در مرحله تک برگ حقیقی و دو هفته بعد از کاشت بذور پیوندک، آماده عملیات پیوند شدند. جهت انجام عملیات پیوند نشاءها به محل مورد نظر انتقال و پیوند نیمانیم تغییر یافته بر روی نشاءهای تلقیح شده با قارچ میکوریزا و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا انجام گرفت. از روش پیوند نیمانیم تغییر یافته به علت سازگاری بالا و آسانی این روش استفاده گردید (Lee & Oda, 2003). گیاهچه‌های پیوند شده بعد از پیوند به اتاقک پیوند با رطوبت نسبی ۹۵ درصد در سه روز اول فرآیند گیرایی، ۸۵ درصد سه روز دوم و ۷۰ درصد سه روز سوم و دمای ۲±۲۸ درجه سلسیوس منتقل شدند. در سه روز اول اتاقک تاریک و سپس نوردهی به تدریج تا روز نهم انجام گرفت (Lee & Oda, 2003). پس از گذشت ۱۰ روز از زمان پیوند، گیاهچه‌های پیوندی تلقیح شده با قارچ میکوریزا و عدم تلقیح با قارچ میکوریزا از اتاقک پیوند خارج و بعد از سازگار شدن با محیط گلخانه این گیاهان به گلدان‌های ۱۰ لیتری با پیت‌ماس و پرلایت به نسبت ۱:۲ انتقال داده شدند. جهت تغذیه گیاهان در طول دوره پرورش از محلول غذایی ½ هوگلند استفاده شد. بعد از انتقال نشاءها به گلدان دمای گلخانه، ۲۸-۲۵ درجه سلسیوس (روز) و دمای ۲۰-۱۸ درجه سلسیوس (شب) تنظیم گردید، بعد از شروع میوه‌دهی به فاصله زمانی ۳-۲ روز در هفته برداشت صورت گرفت. برای تهیه محلول‌های غذایی هوگلند مقدار لازم از نمک‌های مورد نظر توزین شدند و برای این منظور ابتدا محلول‌های پایه عناصر غذایی تهیه گردید و سپس حجم مورد نظر از آن‌ها به داخل بشکه‌های ۲۰۰ لیتری اضافه گردید. لازم به ذکر است که درب بشکه‌ها با استفاده از نایلون‌های سیاه برای ممانعت از رسیدن نور به محلول‌های غذایی و رشد جلبک پوشانده شدند. پس از تهیه محلول غذایی هوگلند، pH آن توسط دستگاه pH متر و EC نیز توسط EC متر اندازه‌گیری شد. pH محلول غذایی با استفاده از اسید سولفوریک، در حدود شش نگهداری شد و EC محلول‌های غذایی هر روز اندازه‌گیری شده و هر هفته آبشویی بستر با آب معمولی، به‌منظور اجتناب از بالا رفتن EC بستر و تجمع نمک صورت گرفت.

اندازه‌گیری صفات رشدی

طول بوته و تعداد برگ

در پایان آزمایش، گیاهان از سطح بستر کف‌بر شده و ارتفاع گیاه از سطح بستر (یقه) تا جوانه انتهایی اندازه‌گیری شد و به‌عنوان شاخصی از طول بوته مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد برگ‌های کل بوته نیز شمارش و مورد ارزیابی قرار گرفتند.

وزن تر و خشک شاخساره

برای اندازه‌گیری وزن تر شاخساره در پایان آزمایش، بوته از طوقه قطع شده و وزن تر آن یادداشت شد. سپس نمونه‌ها درون آون در دمای ۸۵ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفته و سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد.

سطح برگ کل گیاه

سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج (Leaf area meter- Li COR, model Li-1300 Lincoln, NE , USA)، براساس سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری گردید (Huang *et al*., 2010).

شاخص کلروفیل برگ (SPAD)

با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج (SPAD - 502, Konica, Minolta, Osaka, Japan) شاخص SPAD از برگ‌های کاملاً توسعه یافته اندازه‌گیری شد. قرائت مابین رگبرگ‌ها و در حاشیه برگ-ها صورت گرفت. در طول هر بار اندازه‌گیری، کلروفیل‌متر از نور مستقیم خورشید توسط اپراتور محافظت شد. چند برگ تازه توسعه یافته در هر تیمار، به‌صورت تصادفی از هر بوته (دو نقطه از هر برگ) اندازه‌گیری شد و از اعداد حاصل میانگین گرفته شد و به‌عنوان شاخص SPAD برای هر تیمار گزارش شد (Colla *et al*., 2010).

اندازه‌گیری صفات مربوط به میوه

وزن تر و خشک میوه، درصد ماده خشک میوه

در هر نوبت از برداشت، وزن میوه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق

دیجیتالی اندازه‌گیری شده و در پایان آزمایش از اعداد حاصل میانگین گرفته شد و به‌عنوان وزن تر تک میوه برای تیمار مورد نظر گزارش شد. برای محاسبه وزن خشک، دو عدد میوه یک شکل از هر تیمار انتخاب و پس از برش در داخل آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شد. درصد ماده خشک میوه از طریق رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\text{درصد ماده خشک} = \frac{\text{وزن خشک میوه}}{\text{وزن تر میوه}} \times ۱۰۰ \qquad (۱)$$

عملکرد تک بوته

کلیه میوه‌های قابل برداشت در هر تیمار با ترازوی دیجیتالی وزن شدند و در پایان عملکرد هر تیمار محاسبه شد. در محاسبه عملکرد، وزن میوه‌ها به ازای هر بوته گزارش شد.

اندازه‌گیری صفات کیفی میوه

سفتی بافت میوه

برای اندازه‌گیری میزان سفتی میوه‌ها ابتدا به ازای هر تیمار و تکرار دو میوه برداشت شد. سعی شد که میوه‌ها از لحاظ شکل ظاهری و قطر و طول با هم یکسان باشند و با استفاده از دستگاه سفتی‌سنج ابتدا سفتی با پوست اندازه‌گیری و سپس با استفاده از کاترهای مخصوص پوست میوه‌ها جدا شده و با فشار دادن سفتی‌سنج در بافت گوشتی میوه‌ها تا خطوط نشانه، میزان سفتی میوه‌ها اندازه گیری شد.

میزان مواد جامد محلول (TSS)

با چکاندن چند قطره از عصاره میوه روی منشور دستگاه رفراکتومتر دیجیتال ATAGO Brix مواد جامد محلول بر مبنای درجه بریکس تعیین شد.

اندازه‌گیری اسیدیته قابل تتراسیون (TA)، EC و pH عصاره میوه

برای تهیه عصاره میوه ابتدا دو میوه از هر تکرار انتخاب و پس از جدا کردن پوست، آب میوه‌ها توسط دستگاه آب‌میوه‌گیری گرفته شد. سپس برای تهیه عصاره، آب میوه از کاغذ صافی عبور داده شد. از عصاره حاصل برای اندازه‌گیری pH و EC با استفاده از دستگاه pH متر و EC سنج استفاده شد. برای محاسبه اسیدیته قابل تیتراسیون، ۱۰ میلی‌لیتر از عصاره حاصل را با آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و ۵۰ میلی‌لیتر از آن را با محلول هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH متر به عدد ۸/۱ تیتر نموده و با استفاده از فرمول زیر اسیدیته میوه بر حسب درصد اسید مالیک محاسبه شد (Huang *et al.*, 2010) (رابطه ۲).

$$\text{درصد اسیدیته کل} = \frac{S*N*F*E}{C} \times 100 \qquad (۲)$$

S: مقدارهیدروکسید سدیم مصرف شده (میلی‌لیتر)، N: نرمالیته هیدروکسید سدیم، F: فاکتور هیدروکسید سدیم، E: اکی‌والان اسید مالیک، C: مقدار عصاره میوه (میلی‌متر)

اندازه‌گیری میزان ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل

در این پروژهش از روش DPPH برای اندازه‌گیری ظرفیت آنتی-اکسیدانی استفاده گردید (Yu *et al.*, 2002). ۰/۵ گرم نمونه در هاون چینی با استفاده از ازت مایع خرده شده و مقدار چهار میلی‌لیتر متانول اسیدی به آن اضافه و سپس داخل میکروتیوب ریخته و به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۵۰۰۰ در دقیقه سانتریفیوژ گردید. ابتدا ۱۹۰۰ میکرولیتر DPPH برای هر نمونه در کوئیت ریخته شده و در طول موج ۵۱۷nm، با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد، سپس مقدار ۱۰۰ میکرولیتر عصاره اضافه شد و پس از ۳۰ دقیقه ماندن در تاریکی مجدداً در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. سپس ظرفیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها، به‌صورت درصد بازدارندگی DPPH از فرمول (رابطه ۳) محاسبه گردید.

$$\text{درصد DPPH} = \frac{\text{میزان جذب نمونه} - \text{میزان جذب } DPPH}{\text{میزان جذب } DPPH} \times ۱۰۰ \qquad (۳)$$

ارزیابی میزان فنل کل میوه

میزان فنول به شیوه فولین- سیوکالتو اندازه‌گیری شد (Slinkard, 1977). ابتدا ۰/۵ گرم گوشت میوه با نیتروژن مایع در داخل هاون آسیاب شد و سپس ۱/۵ میلی‌لیتر متانول اسیدی یک درصد سرد همگن گردید. عصاره حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۱۲۰۰۰ دور در دقیقه و دمای چهار درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ شد. سپس ۴۰ میکرولیتر از عصاره حاصل را با ۵۰ میکرو لیتر فولین-سیکالتیو و ۷۹۰ میکرولیتر آب مقطر مخلوط کرده و پس از ۳ دقیقه، ۱۵۰میکرولیتر محلول کربنات سدیم ۲۰ درصد به آن اضافه گردید. محلول حاصل به‌مدت دو ساعت در محفظه تاریک در دمای اتاق نگهداری گردید و سپس جذب نوری آن توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۷۶۰ نانومتر قرائت گردید. از اسید گالیک به عنوان محلول استاندارد استفاده شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS 24 و مقایسه میانگین تیمارها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد. شکل‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Excel 2016 رسم گردیدند.

نتایج و بحث

اثر پایه و قارچ میکوریزا بر شاخص‌های رشد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر پایه و قارچ میکوریزا بر شاخص‌های رشد از جمله؛ طول بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن‌تر و خشک شاخساره، شاخص کلروفیل، معنی-دار بوده است.

طول بوته

همانطور که تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد، اثر پایه و قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد، همچنین اثر متقابل پایه و قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر طول بوته معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که پایه شینتوزا تلقیح شده با گونه‌ی قارچ میکوریزا *D. versiformis* بیشترین طول بوته را داشت و گیاهان شاهد غیر پیوندی و فاقد میکوریزا کمترین طول بوته را داشتند (جدول ۳). قارچ‌های میکوریزا از طریق افزایش سطح برگ، افزایش فتوسنتز و ساخت و انتقال مواد باعث افزایش ارتفاع گیاه می شوند (Khan, 2005). افزایش در طول و قطر بوته‌ها در خیارهای پیوند شده روی پایه‌ی شینتوزا (Colla *et al*., 2012)، خیارهای پیوند شده روی پایه‌ی شینتوزا و کدو تنبل (Zhang *et al*., 2006)، پیوند خیار روی پایه‌ی کدو تنبل (Zhou *et al*., 2009) و پیوند خیار روی کدوی برگ انجیری (Zhang *et al*., 2006) گزارش شده است. این محققان علت افزایش رشد رویشی خیارهای پیوندی را کارایی بالای پایه‌ها در جذب و انتقال آب و عناصر غذایی به بخش هوایی و محتوای بالای آب برگ‌ها دانسته‌اند. همزیستی میکوریزی اغلب منجر به تغییر سرعت حرکت آب در خارج و داخل گیاهان میزبان شده و روی ارتفاع گیاه تأثیر دارد (Aauge, 2001). در پژوهشی که به صورت گلخانه‌ای انجام شد نتایج نشان داد تلقیح پایه‌های خیار گلخانه‌ای با چند گونه قارچ میکوریزا ضمن افزایش طول بوته، وزن تر و خشک شاخساره منجر به افزایش عملکرد تک بوته گردید (Marzizadeh *et al*., 2020). در پژوهشی در مورد ژنوتیپ‌های مختلف گوجه فرنگی افزایش عملکرد و کیفیت میوه در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان شاهد مشاهده شد (Hart *et al*., 2015). ژنوتیپ‌های مختلف گوجه‌فرنگی، تلقیح شده با قارچ میکوریزا نسبت به گیاهان شاهد فاقد میکوریزا از رشد و عملکرد بهتری برخوردار بودند (Zoltan *et al*., 2022).

تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان می‌دهد، اثر پایه و قارچ میکوریزا، در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل بین تیمارها، در سطح احتمال ۵ درصد بر تعداد برگ خیار معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین بین تیمارها نشان می‌دهد که کاربرد همزمان پایه و قارچ میکوریزا تعداد برگ در بوته را افزایش داده و کاربرد پایه شینتوزا با قارچ میکوریز گونه‌ی *D. versiformis* در مقایسه با گیاهان غیر پیوندی سبب افزایش بیشتری در تعداد برگ بوته شد. بالاترین تعداد برگ در پایه شینتوزا تلقیح شده با قارچ میکوریز *D. versiformis* و کمترین تعداد برگ در گیاهان شاهد غیر پیوندی و فاقد میکوریزا به دست آمد (جدول ۳). گزارش‌ها نشان می‌دهد که در تمام هندوانه‌های پیوندی تعداد برگ، وزن تر و وزن خشک بخش هوایی در مقایسه با گیاهان بدون پیوند بیشتر بود (Yetisir *et al*., 2007) در مطالعه‌ای دیگر نشان داد شد که تعداد برگ، طول ساقه و وزن تر گیاهان خربزه با پیوند روی ۲۲ پایه مختلف از جنس *Cucurbita* spp.، افزایش می‌یابد و پایه‌ها روی تعداد گره‌ها و شاخه‌های فرعی تأثیر می‌گذارند (Edelstein *et al*., 2004).

وزن تر و خشک شاخساره

اثر پایه در سطح احتمال یک درصد و اثر قارچ میکوریزا در سطح احتمال پنج درصد بر وزن تر و خشک شاخساره معنی‌دار، اما اثر متقابل بین پایه و قارچ میکوریزا بر وزن‌تر و خشک شاخساره معنی‌دار نبود (جدول ۱). خیارهای پیوندی تلقیح شده با قارچ میکوریزا منجر به بهبود ماده خشک شاخساره نیز گردید (Ismet *et al*., 2014).

سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد که اثر پایه و قارچ میکوریزا در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل بین پایه و میکوریزا، در سطح احتمال ۵ درصد بر سطح برگ خیار معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین بین تیمارها نشان می‌دهد که کاربرد پایه و قارچ میکوریزا سبب افزایش سطح برگ نسبت به گیاهان شاهد غیر پیوندی و فاقد میکوریزا شد. طبق جدول مقایسه میانگین بیشترین سطح برگ مربوط به پایه شینتورا تلقیح شده با قارچ میکوریزا گونه‌ی *D. versiformis* و کمترین سطح برگ در بوته‌های خیارهای شاهد غیر پیوندی و فاقد میکوریزا بدست آمد (جدول ۳). طی آزمایشی مشخص گردید که تلقیح گیاهان با قارچ های میکوریزا موجب افزایش سطح برگ‌ها و در نتیجه افزایش میزان کلروفیل آن‌ها شده و نهایتاً سرعت فتوسنتز خالص را در کل دوره رشد گیاه افزایش داد (Raiesi & Ghollarata, 2006). گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان شاهد از سطح برگ بالاتری برخودار بودند، که این نتیجه با گزارش (Banuelos *et al*., 2014) همخوانی دارد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر پایه و قارچ میکوریز بر صفات رشدی و عملکرد خیار گلخانه‌ای

Table 1- ANOVA results for the effect of rootstock and mycorrhizal fungi on some growth characteristics of greenhouse cucumber

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares									
		طول بوته Plant length	تعداد برگ Number of leaves	وزن تر شاخساره Fresh weight of shoots	وزن خشک شاخساره Dry weight of shoot	سطح برگ Leaf area	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن تر میوه Fruit fresh weight	وزن خشک میوه Fruit dry weight	ماده خشک میوه Fruit dry matter	عملکرد Yield
تکرار Replication	2	5.25^{ns}	0.58^{ns}	1524.25^{ns}	28.46^{ns}	52019^{ns}	1.30^{ns}	7.05^{ns}	0.05^{ns}	0.05^{ns}	16261^{ns}
پایه Rootstock	1	3008**	2852**	22620.08**	837.83	9661713^{**}	66.83^{**}	329.80^{**}	2.62^{**}	0.63^{*}	494329^{**}
میکوریز Mycorrhiza	1	1365**	200.08**	13804^{*}	413.83^{*}	3338051**	256.68**	68.97**	1.96**	1.49**	58842^{*}
میکوریز× پایه Rootstock× mycorrhiza	1	133.33*	102.08*	3502.08^{ns}	18.37^{ns}	17331111*	8.16*	40.88*	0.18*	1.08*	47162*
اشتباه آزمایشی experimental error	6	27.91	4.25	1420.25	278.72	135061	0.73	6.82	0.01	0.03	5999

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p≤0.01$ and $p≤0.05$, respectively.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر پایه و قارچ میکوریز بر برخی صفات کیفی میوه خیار گلخانه‌ای
Table 2- ANOVA results of the effect of rootstock and mycorrhiza fungi on some quality traits of greenhouse cucumber fruit

منابع تغییرات Source of variations	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares						
		مواد جامد محلول Total soluble solid (TSS)	EC	pH	اسیدیته تتراسیون Titratable acidity (TA)	ظرفیت آنتی اکسیدانی Antioxidant capacity	محتوی فنل کل Total phenol content	سفتی بافت میوه Fruit firmness
تکرار Replication	2	0.01^{ns}	6.92^{ns}	0.00^{ns}	0.01^{ns}	2.50^{ns}	0.00^{ns}	0.31^{ns}
پایه Rootstock	1	0.35**	145.53*	0.01*	0.01^{ns}	0.01^{ns}	0.00^{ns}	0.06^{ns}
میکوریز Mycorrhiza	1	0.11**	0.01^{ns}	0.04*	0.02^{ns}	0.01*	0.01*	0.93^{ns}
میکوریز× پایه Rootstock× mycorrhiza	1	0.01*	395.71*	3.33^{ns}	0.02^{ns}	0.01*	0.00^{ns}	0.72^{ns}
اشتباه آزمایشی experimental error	6	0.02	29.76	0.00	0.00	2.50	3.33	0.65

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.
ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq 0.01$ and $p\leq 0.05$, respectively.

افزایش سطح برگ می‌تواند درنتیجه افـزایش فتوسـنتز خـالص و محتوای کلروفیل برگ‌ها باشد که میزان مواد فتوسنتزی در دسـترس را برای رشد و نمو برگ فراهم مـی‌کنـد، ایـن امـر در هندوانـه‌هـای پیوندی روی پایـه‌ی کـدو تنبـل (Colla *et al*., 2010) و خیارهـای پیوندی روی پایـه‌ی شـینتوزا (Colla *et al*., 2013) مشـاهده شـده است.

شاخص کلروفیل

اثر پایه و قارچ میکوریزا بر میـزان شـاخص کلروفیـل بـرگ، بـه ترتیب، در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل بین تیمارها در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). بالاترین شاخص کلروفیل در پایه‌ی شینتوزا کلونیزه شده با گونه‌ی قارچ میکوریزا *D. versiformis* همچنین پایین‌تـرین مقدار در گیاهـان شـاهد غیـر پیونـدی و فاقـد میکوریزا مشاهده شد. همچنین تیمار بـا قـارچ میکـوریزا آربوسـکولار شاخص کلروفیل را نسبت به گیاهان شـاهد افـزایش داد (جـدول ۳). محققان افزایش میزان کلروفیـل بـرگ در گیاهـان میکـوریزی شـده نسبت به گیاهان شاهد را گزارش کـرده‌انـد (Sanchez-Blanco *et al*., 2004؛ Zhao *et al*., 2004). محققین گزارش دادنـد کـه قـارچ میکوریزا آربوسکولار با افزایش کلروفیـل کل، محتـوای کارتنوئیـدی و افزایش تجمع کربوهیدات‌ها، فتوسنتز خالص را بصورت قابل تـوجهی افزایش می‌دهد (Manoharan *et al*., 2008). تحقیقـات نشـان داد که همزیستی میکوریزایی سبب افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌هـای فلفل می‌شود (Demir, 2004). از آن جا که قارچ‌هـای میکـوریزا بـه جذب منیزیم در گیاه کمک مـی‌کننـد، مـی‌تواننـد سـنتز کلروفیـل را افزایش دهند (Giri *et al*., 2004).

صفات مربوط به میوه

وزن تر، خشک میوه و درصد ماده خشک

اثر پایه و قارچ میکوریز، همچنین، اثر متقابل پایه و قارچ میکوریزا بر وزن تر، خشک و درصد ماده خشک میوه معنی‌دار بـود (جـدول ۲). کاربرد پایه و قارچ میکوریزا آربوسکولار سبب افزایش وزن تر، خشک میوه و درصد ماده خشک نسبت به گیاهان شاهد غیر پیوندی و فاقـد میکوریزا شد، همچنین، بین گونه‌های بکار رفته از نظر میزان وزن تـر و خشک میوه تفاوت وجود داشت و بالاترین وزن تر، خشـک میـوه و درصد ماده خشک با کاربرد همزمان پایه و قارچ میکوریزا بدست آمـد. ارقام پایه مورد مطالعه از نظر وزن تر و خشک میوه دارای تنوع بوده و بالاترین وزن تر، خشک میوه و درصد ماده خشک گیاهان پیونـدی و میکوریزی در مقایسه با شاهد بهتر بودند (جدول ۳). پژوهش‌ها نشـان داد که همزیستی با قارچ‌های میکوریزا منجر به افزایش دو برابری در وزن خشک شاخه‌ی خیار میکوریزی نسبت به گیاهان فاقـد میکـوریزا گردید (George & Lee, 2005).

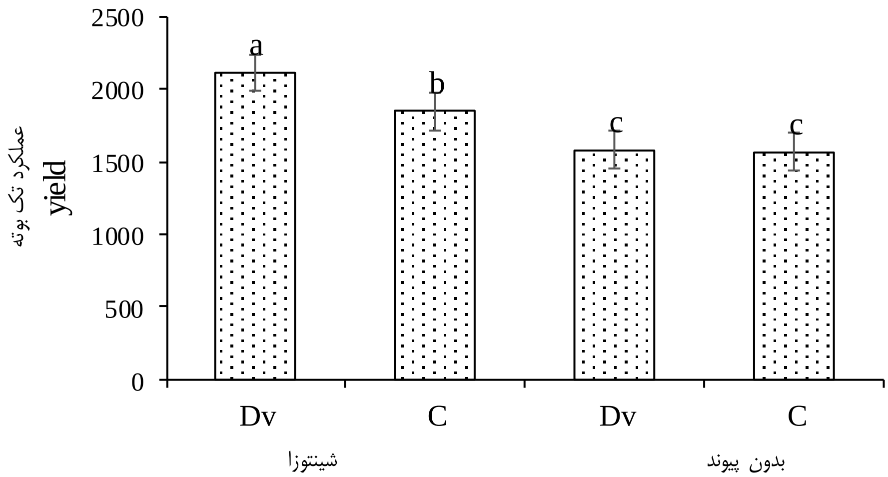
جدول ۳- اثر متقابل پایه × قارچ میکوریزا بر برخی صفات خیار گلخانه‌ای

Table 3- The interaction effect of rootstock ×mycorrhizal fungi on some traits in greenhouse cucumber

تیمار treatment	طول بوته Plant length (cm)	تعداد برگ Number of leaf	سطح برگ Leaf area (cm^2)	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن تر میوه Fruit fresh weight (g)	وزن خشک میوه Fruit dry weight (g)	ماده خشک میوه Fruit dry matter (%)	مواد جامد محلول Total Soluble solid (% Brix)	EC عصاره میوه EC fruit extract (µS)	ظرفیت آنتی اکسیدانی میوه Antioxidant capacity of fruit (%)
D. versiformis×شینتوزا *D. versiformis*×Shintoza	341a	81a	9304.28a	56.26a	90.74a	5.1a	5.77a	5.73a	116.97ab	40a
شینتوزا×عدم میکوریز Non-mycorrhizal × Shintoza	313b	78.66a	7489.37a	46.25b	82.26b	4.54b	5.63a	5.46b	105c	40a
D. versiformis × بدون پیوند *D.* ×non-grafted *versiformis*	303b	56b	6750.61b	41.72c	76.57c	4.42b	5.52a	5.31c	112.45bc	30a
بدون پیوند×عدم میکوریز Non-mycorrhizal × non-grafted	288.33c	42c	6455.85c	38.65c	75.46c	3.36c	4.46b	5.d	124a	10b

حروف غیر مشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ و ۵ درصد می‌باشد (آزمون چند دامنه‌ای دانکن)

Different letters in each column indicate a significant difference at the 1 and 5% level (Duncan's multiple range test)



شکل ۱- اثر متقابل پایه × قارچ میکوریزا بر عملکرد تک بوته در خیار گلخانه‌ای

قارچ میکوریزا گونه *Diversispora versiformis* (Dv)، شاهد بدون میکوریز (C)

Figure 1- The interaction effect of rootstock ×mycorrhizal fungi on the yield plant in greenhouse cucumber

Mycorrhizal fungi *Diversispora versiformis* (Dv), control without mycorrhiza (C). (DMRT, $p \leq 0.05$)

احتمالاً دلیل افزایش ماده خشک در شرایط کاربرد قارچ میکوریزا، مکانیزم عمل این قارچ در جذب فسفر می‌باشد (Khalvati *et al*., 2005). محققان نیز گزارش کردند که وزن خشک میوه‌ها در گیاهان پیوندی در مقایسه با غیرپیوندی‌ها بیشتر بود (Turhan *et al*., 2012؛ Kappel *et al*., 2013). در آزمایش حاضر افزایش وزن خشک و درصد مادۀ خشک میوه در ترکیب‌های پیوندی استفاده شده از قارچ میکوریزا، نسبت به گیاهان غیرپیوندی ممکن است در ارتباط با غلظت بالای املاح آلی و عناصرغذایی به‌ویژه پتاسیم در میوه و نیز مقادیر بالای انباشت و کارایی مصرف پایین عناصر غذایی در این میوه‌ها باشد (Huang *et al*., 2013).

عملکرد تک بوته

نتایج تجزیه واریانس اثر پایه و قارچ میکوریزا، همچنین، اثر متقابل پایه و قارچ میکوریز نشان داد که پایه‌های تلقیح شده با قارچ میکوریزا از نظر وزن کل میوه‌ها تولید بالاتری داشت که این اختلاف در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). از لحاظ اثر متقابل، پایه شینتوزا تلقیح شده با قارچ میکوریزا با تولید ۲۱۱۵/۶ گرم در بوته، بالاترین عملکرد میوه را به خود اختصاص دادند و گیاهان شاهد غیرپیوندی و فاقد میکوریز ۱۵۶۹/۶ گرم در بوته، کمترین مقدار عملکرد میوه را داشتند (شکل ۱). در گیاهان پیوندی و غیرپیوندی تلقیح شده با قارچ میکوریزا عملکرد افزایش یافت اما این افزایش عملکرد در گیاهان پیوندی تلقیح شده با قارچ میکوریزا بیشتر از گیاهان غیرپیوندی تلقیح شده با قارچ با میکوریزا و گیاهان پیوندی تلقیح نشده با قارچ میکوریزا است، همچنین لازم به ذکر است که گیاهان پیوندی فاقد میکوریزا عملکرد بالاتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی میکوریزی داشتند و گیاهان غیرپیوندی تلقیح شده با قارچ میکوریزا از عملکرد بالاتری نسبت به گیاهان غیر پیوندی فاقد قارچ میکوریزا برخوردار بودند. نتایج پژوهشی نشان داد نشان داد که تیمارهای *D. versiformis*، *Diversispora versiformis* + *Rhizophagus intraradices* میزان محصول را ۳۷/۷۸-۲۱/۷۱ درصد افزایش و کیفیت میوه را بهبود بخشید (Cheng & Baumgartner, 2006). خیار پیوند شده روی پایه‌های کدو نسبت به گیاهان غیرپیوندی حدود ۲۷ درصد افزایش عملکرد داشتند (Seong *et al*., 2003). نتایج تحقیقات انجام شده در مورد تأثیر قارچ میکوریزا بر رشد و عملکرد دانهال‌های خیار پیوندی نشان داد گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا به طور قابل توجهی رشد و عملکرد را بهبود می‌بخشند (Ismet *et al*., 2014). در پژوهشی نشان داده شد هندوانه‌های پیوند شده روی کدو بطری شکل، ۶۶-۲۷٪ عملکرد بیشتری نسبت به گیاهان غیرپیوندی دارند (Yetisir *et al*., 2003).

سفتی بافت میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین اثر پایه و قارچ میکوریزا، همچنین اثر متقابل پایه و قارچ میکوریز از لحاظ سفتی بافت میوه معنی‌دار نشد (جدول ۱).

مواد جامد محلول (TSS[1])

اثر پایه و قارچ میکوریزا، همچنین اثر متقابل پایه و میکوریزا بر

1- Total Soluble solid (TSS)

میزان مواد جامد محلول میوه به‌ترتیب، در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بالاترین میزان TSS مربوط به شینتوزا تلقیح شده با قارچ میکوریزا و پایین‌ترین میزان مربوط به گیاهان شاهد غیر پیوندی و فاقد میکوریزا بود (جدول ۳). محققین نیز گزارش کردند که محتوای اسید آسکوربیک و مواد جامد محلول و سفتی در خیارهای پیوندی افزایش پیداکرده است (Zhou *et al*., 2009). تحقیقات نشان داد که افزایش قابل توجهی در مورد مواد جامد محلول هندوانه پیوند شده روی پایه کدو بطری شکل حاصل می‌شود (Salam *et al*., 2002). در شرایط مطلوب رشد، خربزه‌ها و خیارهای پیوندی اسپانیایی از بازارپسندی خوبی برخوردار بوده و کاهشی در کیفیت میوه مشاهده نمی‌شود (Hoyos, 2000).

اسیدیته قابل تیتراسیون، پی‌اچ (pH) و هدایت‌الکتریکی (EC) [1] عصاره میوه

در این بررسی، اثر پایه بر pH ،EC و اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار، اما اثر میکوریزا بر EC و اسیدیته قابل تیتراسیون عصاره میوه معنی‌دار نبود، همچنین اثر متقابل پایه و قارچ میکوریزا بر pH و اسیدیته قابل تیتراسیون عدم معنی‌داری را نشان داد (جدول ۲). بیشترین EC عصاره میوه نیز مربوط به گیاهان شاهد غیرپیوندی و فاقد میکوریزا، همچنین کمترین EC عصاره میوه نیز در پایه‌ی شینتوزا تلقیح نشده با قارچ میکوریزا مشاهده شد (جدول ۳). گزارش شده pH,EC و اسیدیته قابل تیتراسیون در خربزه و طالبی پیوندی روی پایه‌ی شینتوزا نسبت به گیاهان بدون پیوند کمتر بوده است (Colla *et al*., 2013).

ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

اثر پایه و قارچ میکوریزا و همچنین، اثر متقابل بین تیمارها بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی میوه خیار گلخانه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که پایه و گونه‌ی قارچ میکوریزا مورد بررسی در این آزمایش در ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تفاوت چندانی مشاهده نشد و بالاترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به پایه شینتوزا و گیاهان غیرپیوندی تلقیح شده با قارچ میکوریز و پایین‌ترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی را گیاهان شاهد غیر پیوندی و میکوریزا را به خود اختصاص داد (جدول ۳). اثر مثبت قارچ‌های میکوریزا بر افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی نیز اخیراً توسط برخی محققین گزارش شده است (Abdel Latef & Chaoxing, 2011؛ Dudhane *et al*., 2011؛ Huang *at el*., 2011؛ Talaat & Shawky, 2011). پژوهشگران افزایش ظرفیت آنتی اکسیدان‌ها را در گیاهان میکوریزی نسبت به گیاهان غیرمیکوریزی گزارش کرد (Aauge, 2001). در پژوهشی اثر قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی و بهبود کیفیت میوه گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت نتایج نشان داد گیاهان تلقیح شده ظرفیت آنتی اکسیدانی بیشتری داشتند و همچنین جذب فسفر افزایش یافت، اثر قارچ میکوریز روی گیاهان گوجه فرنگی اغلب مرتبط است در قدرب بالای قارچ میکوربز در جذب عناصر غذایی می‌باشد (Miranda *et al*., 2014). گیاهان کاهو تلقیح شده با قارچ میکوریز از محتوای کلروفیل برگ، کاروتنوئید، ظرفیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری نسبت به گیاهان شاهد برخوردار بود (Cela *et al*., 2022).

فنل کل میوه

اثر قارچ میکوریزا بر محتوای فنل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار، اما، اثر متقابل بین تیمارها بر محتوای فنول کل موجود در میوه خیار گلخانه‌ای معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این بررسی، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که بین پایه‌ی شینتوزا تلقیح شده با گونه‌های قارچ میکوریزا و گیاهان غیرپیوندی تلقیح شده با قارچ میکوریزا مورد مطالعه در شرایط کشت بدون خاک در بستری از پیت‌ماس و پرلایت به نسبت ۱:۲ از نظر رشد، عملکرد و صفات کیفی تفاوت معنی‌داری مشاهده دارد. از نظر پاسخ به قارچ میکوریزا، پایه شینتوزا بالاترین وابستگی را داشته و کمترین وابستگی در گیاهان غیرپیوندی مشاهده شد که این امر به نظر می‌رسد به دلیل اثر متقابل پایه و میکوریزا بوده است. بطور کلی در سیستم کشت بدون خاک با بستری از پیت‌ماس و پرلایت به نسبت ۲:۱، پایه شینتوزا تلقیح شده با قارچ میکوریزا گونه‌ی *D. versiformis* منجر به افزایش رشد و نمو، در نتیجه افزایش عملکرد محصول شد.

1- Titration acidity

References

1. Aauge, R.M. (2001). Water relation, drought and vesicular arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza, 11*, 3-42.
2. Abdel Latef, A.A.H., & Chaoxing, H. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, *127*(3), 228–233.
3. Ashok, A., Nisha, K., Karishma, N., Anju, T., & Gupta, K. (2012). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of salinity stress. *Journal of Applied and Natural Science, 4*(1), 144-155.
4. Banuelos, J., Alarcón, A., Larsen, J., Cruz-Sánchez, S., & Trejo, D. (2014). Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Meloidogyne incognitain* the ornamental plant *Impatiens balsamina*. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 44*(4), 63-74.
5. Bolandnazar, S. (2019). *Use of microorganisms and biofertilizers in healthy vegetable production*. 11th Iranian Horticultural Science congress, Urmia University. (In Persian with English abstract)
6. Cheng, X., & Baumgartner, K. (2006). Effects of mycorrhizal root and extra radical hyphen on N_{15} uptake from vineyard cover crop litter and the soil microbial community. *Journal of Soil Biology and Biochemistry, 38,* 2665-2675.
7. Colla, G., Rouphael, Y., Jawad, R., Kumar, P., Rea, E., & Cardarelli, M. (2013). The effectiveness of grafting to improve NaCl and $CaCl_2$ tolerance in cucumber. *Scientia Horticulturae, 164*, 380-391.
8. Colla, G., Rouphael, Y., Cardarelli, M., Salerno, A., & Rea, E. (2010). The effectiveness of grafting to improve alkalinity tolerance in watermelon. *Environmental and Experimental Botany, 68*, 283-291.
9. Colla, G., Rouphael, Y., Rea, E., & Cardarelli, M. (2012). Grafting cucumber plants enhance tolerance to sodium chloride and sulfate salinization. *Scientia Horticulturae, 135*, 177-185.
10. Coline, B., Mireille, C., David, G., Guillaume, B., & Soizic, R. (2013). High phosphate reduces host ability to develop arbuscular mycorrhizal symbiosis without affecting root calcium spiking responses to the fungus. *Journal Frontiers in Plant Science, 426*(4), 1-15.
11. Cela, F., Avio, L., Giordani, T., Vangelisti, A., Cavallini, A., Turrini, A., Sbrana, C., Pardossi, A., & Incrocci, L. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi increase nutritional quality of soilless grown lettuce while overcoming low phosphorus supply. *Foods*, *11*, 3612. https://doi.org/10.3390/foods11223612
12. Davis, A.R., Perkins-Veazie, P., Sakata, Y., López-Galarza, S., Maroto, J.V., Lee, S.G., Huh, Y.C., Sun, Z., Miguel, A., King, S.R., & Cohen, R. (2008). Cucurbit grafting. *Critical Reviews in Plant Sciences, 27*, 50-74.
13. Demir, S. (2004). Influence of arbuscular mycorrhiza on some physiological growth parameters of pepper. *Turkish Journal of Biology, 28*, 85-90.
14. Dudhane, M.P., Borde, M.Y., & Jite, P.K. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and antioxidant activity in *Gmelina arborea* Roxb. under salt stress condition. *Notulae Scientia Biologicae, 3*(4), 71-78.
15. Edelstein, M., Burger, Y., Horev, C., Porat, A., Meir, A., & Cohen, R. (2004). Assessing the effect of genetic and anatomic variation of Cucurbita rootstocks on vigour, survival and yield of grafted melons. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 79*, 370-374.
16. Jan, J., Petra, B., & Milan, G. (2013). Mycorrhizal hyphae as ecological niche for highly specialized hypersymbionts or just soil free-riders. *Journal Frontiers in Plant Science, 134*(4), 1-8.
17. George, E., & Lee, Y.J. (2005). Contribution of mycorrhizal hyphae to the uptake of metal cations by cucumber plants at two levels of phosphorus supply. *Journal of Plant and Soil, 287*, 361-370.
18. Giri, B., & Mukerji, K.G. (2004). Mycorrhizal inoculant alleviates salt stress in *Sesbania aegyptiaca* and *Sesbania grandiflora* under field conditions: evidence for reduced sodium and improved magnesium uptake. *Mycorrhiza, 14,* 307–312.
19. Hart, M., Ehret, D.L., Krumbein, A., Leung, C., Murch, S., Turi, C.E., & Franken, P. (2015). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves the nutritional value of tomatoes. *Mycorrhiza, 25*, 359–376.
20. Hoyos Echebarría, P. (2000). March. Influence of different rootstocks on the yield and quality of greenhouses grown cucumbers. In V International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climates: *Current Trends for Sustainable Technologies, 559*, 139-144.
21. Huang, Y., Bie, Z.L., He, S.P., Hua, B., Zhen, A., & Liu, Z.X. (2010). Improving cucumber tolerance to major nutrients induced salinity by grafting onto *Cucurbita ficifolia*. *Environmental and Experimental Botany, 69*, 32-38.
22. Huang, Y., Li, J., Hua, B., Liu, Z., Fan, M., & Bie, Z. (2013). Grafting onto different rootstocks as a means to improve watermelon tolerance to low potassium stress. *Scientia Horticulturae, 149*, 80-85.
23. Huang, Z., Zou, Z., He, C., He, Z., Zhang, Z., & Li, J. (2011). Physiological and photosynthetic responses of melon (*Cucumis melo* L.) seedlings to three *Glomus* species under water deficit. *Plant and Soil, 339*(1), 391-399.
24. Kappel, N., Balazes, G., Fekete, D., & Bohm, V. (2013). *Use of different potassium and magnesium treatments in*

watermelon production by fertigation. International Potash Institute, Research Findings, No. 36.
25. Keymer, A., Pimprikar, P., Wewer, V., Huber, C., Brands, M., Bucerius, S.L., Delaux, P.M., Klingl, V., Ropenack, E., & Wang, T.L. (2017). Lipid transfer from plants to arbuscular mycorrhiza fungi. *eLife, 29107*(6), 1-33. https://doi.org/10.7554/eLife.29107
26. Khalvati, M.A., Mzafar, A., & Schmidhalter, U. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular-mycorrhizal hypha and its signification for leaf growth, water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart, 7*(6), 706-712.
27. Khan, A.G. (2005). *Mycorrhizas and phytoremediation*. In: Willey, N. (ed.), Method in Biotechnology-Phytoremediation: Methods and Reviews. Totowa, USA: Humana Press.
28. Lee J.M., & Oda, M. (2003). Grafting of herbaceous vegetable and ornamental crops. *Horticultural Reviews, 28*, 61-124.
29. Lichtenthaler, H.K. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In Methods in enzymology. *Academic Press, 148,* 350-382.
30. Manoharan, P.T., Pandi, M., Shanmugaiah, V., Gomathinayagam, S., & Balasubramanian, N. (2008). Effect of vesicular arbuscular mycorrhizal fungus on the physiological and biochemical changes of five different tree seedlings grown under nursery conditions. *African Journal of Biotechology, 7,* 3431–3436.
31. Magwaza, S.T., Magwaza, L.S., Odindo, A.O., & Mditshwa, A. (2020). Hydroponic technology as decentralised system for Do- mestic wastewater treatment and vegetable production in urban agriculture: A Review. *Science Total Environment, 134154*(698), 89-123.
32. Marzizadeh, A., Bolandnazar, S., & Hajilou, J. (2020). The effect of two commercial rootstocks pumpkin and two mycorrhizal fungi species colonization on growth and yield of greenhouse cucumber. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 30*(2), 129-143. (In Persian with English abstract)
33. Miranda, H., David, E., Angelika, K., Connie, L., Susan, M., Christina, T., & Philipp, F. (2014). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi improves the nutritional value of tomatoes. *Mycorrhiza, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1007*(10), 1-18.
34. Raiesi, F., & Ghollarata, M. (2006). Interactions between phosphorus availability and an AM fungus (*Glomus intraradices*) and their effects on soil microbial respiration, biomass and enzyme activities in a calcareous soil. *Pedobiologia, 50,* 413–425.
35. Salam, M.A., Masum, A.S.M.H., Chowdhury, S.S., Dhar, M., Saddeque, M.A., & Islam, M.R. (2002). Growth and yield of watermelon as influenced by grafting. *Journal of Biotechology Sciencess, 2,* 298-299.
36. Sanchez-Blanco, M.J., Ferrandez, T., Morales, M.A., Morte, A., & Alarcon, J.J. (2004). Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. *Journal of Plant Physiology, 161*(6), 675-682.
37. Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., & Astolfi, S. (2019). Hydroponic solutions for soilless production systems: Issues and opportunities in a smart agriculture perspective. *Front. Plant Science, 923*(10), 1-17.
38. Savvas, D., Papastavrou, D., Ntatsi, G., Ropokis, A., Hartmann, H., & Schwarz, D. (2009). Interactive effects of grafting and Mn supply level on growth, yield and nutrient uptake by tomato. *Scientia Horticulturae, 44,* 1978-1982.
39. Salehi, H., Javadi, T., & Ghaderi, N. (2021). *The effect of mycorrhizal on quality characteristics of strawberries in defferent growing medium under soilless culture*. 12th Iranian Horticultural Science congress. 12: 114-119.
40. Slinkard, K., & Singleton, VL. (1977). Total phenol analysis; automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture, 28,* 49-55.
41. Seong, K.C., Moon, J.H., Lee, S.G., Kang, Y.G., Kim, K.Y., & Seo, H.D. (2003). Growth, lateral shoot development, and fruit yield of white-spined cucumber (*Cucumis sativus* cv. Baekseong-3) as affected by grafting methods. *Journal of the Korean Soceity for Horticultural Science, 44,* 478-482.
42. Smith, S.E., & Read, D.J. (2008). Mineral nutrition, toxic element accumulation and water relations of arbuscular mycorrhizal plants. *Mycorrhizal Symbiosis, 3,* 145-18.
43. Suarez-Caceres, G.P., Perez-Urrestarazu, L., Aviles, M., Borrero, C., Eguibar, J.R.L., & Fernandez-Cabanas, V.M. (2021). Susceptibility to water-borne plant diseases of hydroponic vs. aquaponics systems. *Aquaculture, 737093*(544), 10-8. https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737093
44. Talaat, N.B., & Shawky, B.T. (2011). Infl uence of arbuscular mycorrhizae on yield, nutrients, organic solutes, and antioxidant enzymes of two wheat cultivarsunder salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 174*(2), 283−291. https://doi.org/10.1002/jpln.201000051
45. Tafazolei, E. (2009). *Cultivation of greenhouse fruits (hydroponics).* First National Congress of Hydroponics and Greenhouse Products, Isfahan University of Technology. (In Persian)
46. Ortas, I. (2010). Effect of mycorrhiza application on plant growth and nutrient uptake in cucumber production under field conditions. *Spanish Journal of Agricultural Research, 8*, 116-122.
47. Turhan, A., Ozmen, N., Kuscu, H., Serbeci, M.S., & Seniz, V. (2012). Influence of rootstocks on yield and fruit

characteristics and quality of watermelon. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, *53*(4), 336-341.
48. Ismet, B., Glenda, S., & Astrit, B. (2014). The effects of endogenous mycorrhiza (*Glomus* spp.) on plant growth and yield of grafted cucumber (*Cucumis sativum* L.) under common commercial greenhouse conditions. *Albanian Journal Agriculture Sciences*, *13*(2), 24-28.
49. Yetisir, H., Kurt, S., & Tok, F.M. (2007). Root stock potential of Turkish *Lagenaria siceraria* germplasm for watermelon: plant growth, graft compatibility, and resistance to Fusarium. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, *31*, 381-388.
50. Yetisir, H., Sari, N., & Yucel, S. (2003). Rootstock resistance to Fusarium wilt and effect on watermelon fruit yield and quality. *Phytoparasitica*, *31*, 163-169.
51. Yu, L., Haley, S., Perret, J., Harris, M., Wison, J., & Qian, M. (2002). Free radical scavenging properties of wheat extracts. *Agriculture Food Chemistry*, *50*, 1619–1624.
52. Zhang, Z.X., Li, A. Q., Xu, Y.L., & Xu, Y.J. (2006). Analysis of plant protecting isozymes and their affinity of grafted watermelon seedlings. *Chinese Journal Tropical Crops*, *27*, 12-16.
53. Zhao, F.G., Chen, L.P., He, X.L., & Pan, J. (2004). Effects of AM fungi on the quality of tobacco leaf at different phosphorus levels. *Soils and Fertilizers (Beijing)*, *3*, 43-45.
54. Zhou, Y., Zhou, J., Huang, L., Ding, X., Shi, K., & Yu, J. (2009). Grafting of *Cucumis sativus* onto Cucurbita ficifolia leads to improved plant growth, increased light utilization and reduced accumulation of reactive oxygen species in chilled plants. *Journal of Plant Research*, *122*(5), 529-540.
55. Zoltan, F., Roxana, V., Vlad, S., Ioana, A.R., Adriana, F.S., Teodor, R., & Radu, E.S. (2022). Arbuscular mycorrhizal fungi and fertilization influence yield growth and root colonization of different tomato genotype. *MDPI Journal Plants*, *1743*(11), 1-24. https://doi.org/10.3390/plants11131743